

Penerapan Teknologi Pengolahan Kotoran menjadi Sumber Energi Terbarukan Menggunakan Reaktor Biobuyuh

Alplication of Processing Technology for Qualing Dung into Renewable Energy Source Using the Biobuyuh Reactor

Suparni Setyowati Rahayu¹, Totok Prasetyo¹, Basuki Setiyo Budi²
¹Jurusan Teknik Mesin UNDIP email : suparnirahayu@yahoo.co.id
²Jurusan Teknik Sipil POLINES

ABSTRAK

Limbah peternakan burung puyuh yang berupa kotoran burung puyuh belum termanfaatkan secara optimal dan baunya mengganggu pernapasan penduduk. Oleh sebab itu penelitian ini dikembangkan teknologi pengolahan kotoran burung puyuh melalui proses an-aerob dengan menggunakan reaktor *BIOBUYUH* untuk menghasilkan energi skala rumah tangga. Tujuan penelitian ini untuk mengkaji secara fundamental karakteristik degradasi zat organik dari kotoran burung puyuh dengan metode anaerob untuk mendapatkan energi terbarukan. Desain reaktor dan proses dengan menempatkan reaktor *BIOBUYUH* dan memanfaatkan mikroorganisme merupakan inovasi dan menjadi kebaruan dari penelitian ini. Penyisihan material organik bersifat unik karena difasilitasi oleh dua faktor. Faktor pertama adalah banyaknya konsentrasi mikroorganisme dari kotoran burung puyuh yang berfungsi sebagai pengurai zat organik dan pengendali selektivitas penyisihan untuk mendegradasi zat organik. Faktor kedua adalah HRT yang merupakan periode rata-rata yang dibutuhkan substrat untuk bereaksi dengan bakteri methanogenen di dalam reaktor *BIOBUYUH*. Pemahaman aspek teknis kinerja sistem dianalisis berdasarkan karakteristik penyisihan TS, VS, HRT. Keseluruhan tahap penelitian ini memberikan 2 luaran terukur sebagai kontribusi, yaitu: (a) sebuah prototype reactor *BIOBUYUH* yang kompak dan modular untuk pengolahan kotoran burung puyuh dalam upaya mendapatkan energi terbarukan pada hari ke 12 dengan komposisi gas CH₄ 72,46% dan CO₂ 24,16% (b) data teknis untuk perancangan dan pengoperasian reaktor *BIOBUYUH* dengan volume 12 m³.

Kata Kunci: *BIOBUYUH*, CH₄, HRT, Kotoran burung puyuh.

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan tingkat konsumsi energi meningkat, sedang sumber energi fosil terbatas, sehingga perlu usaha mendapatkan energi terbarukan. Di lain pihak limbah peternakan yang berupa kotoran burung puyuh belum dimanfaatkan oleh masyarakat sehingga oleh peternak hanya digunakan untuk pupuk di persawahan. Kotoran burung puyuh dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan alternatif sumber energi terbarukan. mempunyai kandungan rasio C/N 65-74 (Batidzirai, 2012) sedang

menurut Billen (2015) pembentukan biogas optimum terjadi pada substrat dengan rasio C/N 20-30 sehingga kotoran burung puyuh cukup potensial untuk bahan baku biogas. Kotoran burung puyuh sebagai sumber asam amino yang merupakan sumber Nitrogen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhan sel. Biogas merupakan salah satu bentuk diversifikasi energi terbarukan yang dihasilkan yang dapat diperoleh dengan biaya murah dan ramah lingkungan sekaligus mengurangi permasalahan lingkungan seperti polusi sampah peternakan. Menurut Cantrell (2012)

pengolahan biologis anaerobic merupakan alternatif yang paling menarik untuk mengolah limbah peternakan kotoran burung puyuh dengan pertimbangan (1) karakteristik limbah peternakan kotoran burung puyuh memang lebih sesuai diolah secara anaerobic karena mengandung bahan organik tinggi biodegradable konsentrasi tinggi carbon, nitrogen dan mikronutrien yang sesuai dengan pertumbuhan mikroorganisme (2) kandungan C dan volatile solid dan total solid yang tinggi akan menjadi sumber energi yang tinggi dalam bentuk metan (3) bakteri anaerobic biasa tahan hidup dalam waktu lama tanpa adanya makanan/substrat. Lebih lanjut dinyatakan harus ada transformasi kerangka kontekstual dalam pengelolaan lingkungan, yakni keyakinan bahwa perkembangan limbah peternakan kotoran burung puyuh secara keseluruhan harus menjamin sistem lingkungan alam berfungsi sebagaimana mestinya dalam batasan ekosistem lokal hingga biosfer (Tańczuk, 2017).

Salah satu desa yang banyak mendapat sorotan dari segi lingkungan adalah desa Banjarsari Kecamatan Gajah Kabupaten Demak yang sebagian besar penduduknya mempunyai mata pencarian petani padi dan peternak yang belum memanfaatkan kotoran burung puyuh dan hanya digunakan sebagai pupuk akibatnya kondisi lingkungan tercemar adanya bau yang menyengat dan membuat masyarakat terdampak pernapasannya sedang peternak belum memanfaatkan kotoran burung puyuh untuk apapun juga hanya ditumpuk di sekitar kandang dan mengganggu lingkungan karena adanya bau yang menyengat. Hasil uji labolatorium yang dilakukan pada sampel kotoran burung puyuh dengan kandungan kadar air 7,89%, rasio C/N 63,13%, *volatil solid* 84,63%, *total solid* 96,205% (Tańczuk, 2017). Ditinjau dari konsentrasi bahan organik dan C organik yang besar maka berpotensi sebagai bahan baku biogas. Berkembangnya produksi peternakan ini tidak diikuti pemanfaatan yang cukup optimal untuk menangani limbah peternakan kotoran burung puyuh .

Oleh karena itu perlu dikembangkan teknologi pemanfaatan yang terarah, berkelanjutan dan optimal untuk menangani limbah peternakan kotoran burung puyuh agar lebih bermanfaat menjadi energi terbarukan dengan pengolahan menggunakan reaktor BIOBUYUH. Teknologi pengolahan ini dipadukan dengan penambahan mikroorganisme dari kotoran sapi sebagai starter untuk proses anerob dalam upaya mempercepat proses dekomposisi material organik dalam kotoran burung puyuh, dengan metode ini pengelolaan limbah peternakan kotoran burung puyuh tidak hanya bersifat “penanganan” namun juga memiliki nilai guna/manfaat sebagai energi (Wieremiej, 2017).

Pengembangan teknologi energi terbarukan dengan pengolahan limbah peternakan dengan reaktor BIOBUYUH adalah melakukan optimasi eksperimental potensi kotoran burung puyuh menjadi sumber bahan baku energi terbarukan, melakukan pemodelan teoritik pengaruh parameter intrinsik terhadap karakteristik penyisihan TS dan VS terhadap volume biogas sebagai energi terbarukan, menguji stabilitas proses dan *trouble shooting* melalui uji jangka panjang sekala pilot (*long term pilot plant asesment*) dalam bentuk teknologi tepat guna, membuat *preliminary design* dan evaluasi tekno ekonomi untuk volume 12 m³ dalam upaya pengembangan energi terbarukan skala rumah tangga (Florin, 2019).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji secara fundamental karakteristik penyisihan TS dan VS dengan metode anaerob memanfaatkan kotoran burung puyuh. Kebaruan penelitian ini menghasilkan inovasi dan pengembangan iptek yang dapat dimanfaatkan masyarakat dengan adanya penerapan reaktor BIOBUYUH skala rumah tangga untuk pengolahan limbah peternakan kotoran burung puyuh skala rumah tangga menjadi biogas sebagai energi terbarukan. Penyisihan material organik bersifat unik karena difasilitasi oleh dua faktor. Menurut

International Energy Agency (2019), Faktor pertama adalah banyaknya konsentrasi kotoran burung puyuh yang berfungsi sebagai pengurai zat organik dan pengendali selektivitas penyisihan untuk mendegradasi zat organik. Faktor kedua adalah HRT yang merupakan periode rata-rata yang dibutuhkan substrat untuk bereaksi dengan bakteri methanogenen di dalam reaktor BIOBUYUH. Peristiwa anaerob dalam mendegradasi material organik menjadi gas methane, karbondioksida dan gas lainnya melalui 4 tahapan reaksi yaitu hidrolisis, fermentasi, asetogenesis dan methanogenesis dengan memanfaatkan mikroorganisme kotoran sapi. Teknik proses penyisihan dapat dilakukan secara kontinu tanpa perlu menggunakan bahan-bahan kimia sehingga prosesnya ramah lingkungan. Disamping itu unit anaerob berbentuk modulan yang mudah di *scale-up* sesuai dengan jumlah umpan yang akan diproses. Biaya instalasi reaktor BIOBUYUH bergantung pada laju transfer material organik atau TS dan VS, HRT yang pada akhirnya menentukan ukuran instalasi BIOBUYUH. Dengan kata lain kelayakan tekno ekonomi teknik anaerob dengan memanfaatkan mikroorganisme kotoran burung puyuh ditentukan oleh parameter operasi dan parameter disain.

Sebagai salah satu energi terbarukan yang ramah lingkungan mempunyai beberapa kelebihan dibanding dengan sumber energi alternatif lainnya, selain bahan utama pembuat biogas dapat diperbarui, biogas yang dihasilkan juga bersih dan mudah dikontrol selian itu bahan isian bisa berasal dari kotoran burung puyuh yang mempunyai nilai ekonomi nol. Pemanfaatan biogas sebagai pengganti gas elpiji atau kayu bakar dalam kegiatan sehari-hari direkomendasikan karena biogas lebih bersih, mudah dikontrol dan dapat mengurangi pencemaran udara. Untuk mengetahui efektifitas teknologi An-aerob dengan reaktor BIOBUYUH dalam membentuk energi alternatif (biogas) maka dilakukan penelitian tentang pembentukan biogas melalui teknologi An-aerob dengan

reaktor BIOBUYUH dengan media limbah peternakan kotoran burung puyuh dengan penambahan mikroorganisme kotoran sapi sebagai starter (Saidura, 2013).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdapat variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel terikat. Pada penelitian ini, yang dianggap sebagai variabel bebas adalah konsentrasi influen. *Hydraulic Retention Time (HRT)* serta volume biogas yang terbentuk. Variabel kontrol adalah variabel yang digunakan sebagai kontrol penelitian sehingga penelitian diharapkan dapat sesuai dengan kaidah, ada penelitian ini, yang dianggap variabel kontrol adalah pH dan temperatur.

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Pada penelitian ini sebagai variabel terikat adalah parameter yang akan diturunkan nilai konsentras bahan organik, yaitu efisiensi penurunan konsentrasi TS dan VS.

Menurut Dalólio (2017), Pada tahap pertama, eksperimen difokuskan pada optimasi parameter operasi yang meliputi tinggi BIOBUYUH, diameter BIOBUYUH, HRT dan konsentrasi konsentrat. Simulasi numerik juga dilakukan untuk mendapatkan pemahaman kelakuan proses dalam rentang kondisi operasi yang luas. Variabel tetap merupakan nilai TS dan VS dalam setiap variasi HRT, konfigurasi reaktor BIOBUYUH : terbuat dari plastik PVC. Konsentrasi material organik VS dan TS yang tersisih dengan proses anaerob menggunakan mikroorganisme kotoran sapi. Variabel berubah adalah HRT : 6 – 12 hari, konsentrasi kotoran burung puyuh dan kotoran sapi perbandingan massa dari 1:1, 1:0, 5, 1:0, 33, 1:0, 25 dan 1:0, 20. Laju alir umpan : 2 – 20 kg/jam, Laju alir konsentrat : 1 – 5 kg/jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik dan potensi kotoran burung puyuh untuk produksi biogas sebagai energi terbarukan dilakukan untuk mengetahui karakteristik kimia dan fisik kotoran burung puyuh. Variasi konsentrasi kotoran burung puyuh yang diperoleh dari penelitian ini dan beberapa penelitian sebelumnya diperkirakan adanya kemiripan jumlah bahan baku kotoran burung puyuh. Disamping itu, kotoran burung puyuh mengandung padatan tersuspensi yang dapat berupa komponen karbohidrat, protein terdapat sebagai sumber energi terbarukan. Selama degradasi bahan organik sudah dapat diatasi dengan adanya *kotoran burung puyuh*. Senyawa karbon yang terkandung di dalam kotoran burung puyuh dapat digunakan sebagai sumber energi dari mikroorganisme baik dalam kondisi aerobik maupun anaerobik

Hasil analisa pendahuluan untuk mengetahui karakteristik kotoran burung puyuh parameter yang diuji dalam analisa pendahuluan ini antara lain konsentrasi COD, TSS, pH dan temperatur. Konsentrasi COD dianalisa untuk mengetahui potensi material organik yang terkandung dalam kotoran burung puyuh yang dapat didegradasi untuk menghasilkan energi terbarukan biogas. Nilai TSS digunakan untuk mengetahui jumlah *Suspended Solid* yang terkandung dalam kotoran burung puyuh. pH dan temperatur dianalisa untuk mengetahui karakteristik fisik kotoran burung puyuh yang sangat berpengaruh dalam proses an-aerob yang akan dilakukan. Hasil pengujian ini memperlihatkan konsentrasi COD yang terkandung dalam kotoran burung puyuh ini cukup besar.

Penelitian dengan variasi perbandingan kotoran burung puyuh dengan kotoran sapi (100% : 20%) dilakukan dengan metode anaerob menggunakan bioreaktor BIOBUYUH. Variabel yang diperiksa dalam tiap HRT yang telah ditentukan adalah COD, TSS dan pH. Selain itu dilakukan pemeriksaan biogas yang dihasilkan selama proses yang meliputi karakteristik biogas maupun nilai kalornya (Tańczuk, 2018).

Selain memperhatikan efisiensi penurunan COD pada kotoran burung puyuh, HRT optimum ditentukan juga dengan memperhatikan produksi biogas yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan penelitian ini dilakukan selain untuk mengolah kotoran burung puyuh tetapi juga dalam rangka mendapatkan energi terbarukan yang ramah lingkungan yaitu berupa biogas. Hal ini sesuai dengan Qian et al. (2018), yang menyatakan berkurangnya COD karena terkonversi ke gas methane (CH_4) dalam tahap methanogenesis. Selama proses hidrolisis hingga tahap acidogenesis belum terjadi penurunan konsentrasi COD yang signifikan sehingga CH_4 belum terbentuk, yang terbentuk adalah gas-gas lain seperti CO_2 dan H_2 .

Pada HRT 18 hari laju penurunan COD hanya mencapai 87,82%. Hal ini menandakan penurunan laju penyisihan COD dimulai dari hari ke 16. Penurunan laju removal COD ini juga terjadi pada HRT 16 hari hingga HRT 24 hari. Hal ini terlihat dari besarnya efisiensi penurunan COD yang terlihat mulai konstan dari HRT 12 hari berturut-turut hingga HRT 24 hari. Hasil ini menjelaskan bahwa kinerja bakteri methanogenesis telah melewati masa optimalnya. Telah terlewatinya masa optimalnya penyisihan COD ini didukung pula oleh kondisi pH yang terus naik mulai dari HRT 12 hari. Hal ini dikarenakan asam yang menjadi substrat utama bakteri methanogenik terus berkurang yang telah dikonversi ke gas methane sehingga kondisi pH cenderung naik. Kondisi pH seperti penjelasan di atas sesuai dengan pernyataan Tańczuk (2019), bahwa reaksi pembentukan methane akan mengalami penurunan pH pada awal-awal proses sebagai akibat terbentuknya asam dan proses asidogenesis dan acetogenesis, dan akan naik pada akhir proses karena substrat asam telah terpakai oleh bakteri methane. Oleh sebab itu terus berkurangnya substrat berupa asam asetic maka produksi biogas juga terus berkurang. Oleh karena itu jika substrat asam telah habis maka HRT optimalpun telah tercapai.

Penurunan konsentrasi TSS yang terukur dalam *effluent* tiap HRT seiring dengan peganggu settling TSS sehingga mengakibatkan konsentrasi TSS meningkat. Pada HRT lebih dan 12 hari konsentrasi TSS berada pada angka yang relative konstan. Penurunan konsentrasi namun tidak bertambah dengan cukup signifikan. Pada HRT yang lama, semakin banyak TSS yang dapat dihidrolisis oleh *enzyme extraseluler* sehingga konsentrasinya terus berkurang. Dari hasil penelitian, konsentrasi TSS masih tinggi sehingga dibutuhkan pengelolaan lanjutan seperti halnya yang terjadi pada penurunan konsentrasi COD. Pengolahan aerobik direkomendasikan untuk mengikuti pengolahan anaerob agar mendapat keuntungan dari kedua proses tersebut (Tańczuk, 2019).

Proses Running penelitian yang dilakukan selama 24 hari menghasilkan biogas yang ditampung dalam tangki penampung. Biogas diukur pada tiap HRT yang dimulai dari HRT 2 hari, berturut-turut hingga HRT 24 hari. Pada hari ke-10 diperoleh 5815 mL biogas dan terus meningkat hingga HRT 24 hari. Peningkatan cukup signifikan pada produksi biogas dalam penelitian ini terjadi pada HRT 10 hari dimana dihasilkan 5815 mL biogas dan volume kumulatif hingga HRT 12 hari mencapai 5815 mL. Produksi biogas pada HRT12 hari ternyata merupakan produksi biogas paling optimal karena pada HRT 12 hari produksi biogas menurun dan terus menurun pada HRT selanjutnya, hingga hari ke 12 volume kumulatif biogas yang dihasilkan mencapai 11.225 mL. Dimulai dari HRT-16 hari hingga HRT 24 hari terjadi penurunan produksi biogas hingga volume kumulatif terlihat konstan. Produksi biogas pada hari ke 22 sampai hari ke 24 masih menurun tetapi secara kumulatif sudah terlihat konstan pada hari ke 12 sehingga hari ke 12 merupakan waktu yang optimal.

Konstannya volume biogas ini menandakan sebagian besar substrat asam yang dikonversi bakteri untuk menghasilkan gas methane telah dikonversi, sehingga HRT optimal dalam produksi biogas telah

terlewati. Hal ini 72% produksi biogas berasal dari substrat dan sisanya dari substrat CO₂ dan H₂. Selama masa Running, dilakukan pemeriksaan karakteristik biogas yang dihasilkan hingga hari ke-16 yang meliputi kandungan CH₄, CO₂ dan nilai kalor biogas yang dihasilkan. Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan, kandungan CH₄ dalam biogas mencapai 78.26 % dan kandungan CO₂ mencapai 20,16 %. Nilai kalor biogas hasil pemeriksaan 4246,55 kkal/kg. Nilai kalor biogas sangat tergantung pada kandungan asam methane dan CO₂ dalam biogas. Jika kandungan gas methane tinggi maka nilai kalor biogas juga tinggi. Perbandingan sumber energi dan nilai kalor bahan bakar yang digunakan untuk kebutuhan memasak adalah diperoleh data sebagai berikut kayu bakar 3077,5 kkal/kg, semak dan nabati lain 568,5 kkal/kg, minyak tanah 1869 kkal/kg, batubara 4800 kkal/kg, fuel oil 9766 kkal/kg, lpg 11220 kkal/kg, biogas 4246,55 kkal/kg. Terlihat untuk HRT dengan waktu yang lebih lama akan mendapatkan prosentase CH₄ dan CO₂ lebih besar daripada untuk HRT yang lebih pendek waktunya. Sehingga HRT tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi methane di dalam biogas (Lourinho, 2015).

Evaluasi tekno ekonomi bertujuan untuk mendapatkan gambaran kelayakan sistem BIOBUYUH untuk produksi biogas dari kotoran burung puyuh. Biogas yang dihasilkan sebagai substitusi alternatif energi untuk keperluan sendiri dengan sebagai bahan perhitungan rata-rata harga eceran elpiji sebesar Rp 144.000/ 12 kg atau sebesar Rp. 12.000/kg. Kandungan energi elpiji sebesar 49,51 Mj/kg sedangkan biogas energinya 35 Mj/kg sehingga kesetaraan energi biogas 75% terhadap energi elpiji. Maka penggunaan elpiji dapat dihemat dalam satu tahun sebesar Rp11.656.000. Sebagai gambaran instalasi biogas dengan sistem BIOBUYUH dengan harga 5 m³ sebesar Rp 12.500.000,- untuk pengembalian modal BIOBUYUH adalah

total biaya digester/total biaya 1,3 tahun (Lourinho, 2015).

Berdasarkan hasil pengolahan kotoran burung puyuh menjadi biogas sebagai energi terbarukan yang dapat mencapai kualitas setara dengan bahan bakar lainnya dianalisis potensi keberlanjutannya dari biogas berbasis kotoran burung puyuh dari segi ekonomi, sosial dan lingkungan. Adanya peningkatan produktifitas melalui pemanfaatan kotoran burung puyuh menjadi biogas maka meningkat pula kualitas dan kuantitas produk dengan bahan yang tersedia dan dapat mengurangi produk yang tidak diinginkan dan dapat meminimalisasi limbah yang dihasilkan. Biogas yang terproduksi secara kontinyu akan memudahkan penggunaannya pada masyarakat. Karakteristik kotoran burung puyuh yang mengandung bahan organik tinggi dengan jumlah yang besar akan menghasilkan biogas dalam jumlah besar pula. Kebaruan dari penelitian ini adalah mendapatkan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan melalui konsep teknologi penggunaan reaktor BIOBUYUH dan inokulum kotoran burung puyuh dari limbah peternakan secara terintegrasi sehingga didapatkan efisiensi energi (Saidura, 2013).

KESIMPULAN

Reaktor BIOBUYUH yang digunakan untuk mengolah limbah peternakan kotoran burung puyuh dan kotoran burung puyuh dengan perbandingan 5:1 akan mampu mengurangi beban limbah dan pencemaran udara. Kotoran burung puyuh merupakan sumber bahan baku biogas yang signifikan dalam hal kualitas dan kuantitas serta keberlanjutannya. Pada potensi biogas dari limbah peternakan berupa kotoran burung puyuh yang dapat dihasilkan nilai kalor 25.905.498 kkal/ hari dan biogas sebesar 5.178.000 L/ hari. Biogas sejumlah tersebut dapat menggantikan 100% kebutuhan LPG untuk keperluan rumah tangga . Sedangkan untuk menggantikan kayu bakar penggunaan biogas sebesar 81,56%.

Pengaruh berbagai variabel proses terhadap produksi energi terbarukan adalah konsentrasi kotoran burung puyuh 20% dan kondisi optimum terbentuknya biogas pada digester BIOBUYUH pada hari ke 12, konsentrasi penyisihan COD 77,76% dan konsentrasi TSS 88,15%. Gas bio pada HRT 12 hari dengan kandungan CH₄ 88,21 % dan CO₂ 10,16 % dihasilkan pada reaktor BIOBUYUH.

DAFTAR PUSAKA

- Batidzirai B, Smeets EMW, Faaij APC. 2012. Harmonising bioenergy resource potentials: Methodological lessons from review of state of the art bioenergy potential assessments. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16:6598–6630.
- Billen P, Costa J, Van der Aa L, Van Caneghem J, Vandecasteele C. 2015. Electricity from poultry manure: A cleaner alternative to direct land application. *J. Clean. Prod.* 96:467–475.
- Cantrell KB, Hunt PG, Uchimiya M, Novak JM, Ro KS. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresour. Technol.* 107:419–428.
- Dalólio FS, Nogueira da Silva J, Carneiro de Oliveira AC, Ferreira Tinôco IF, Barbosa RC, Resende MO, Teixeira Albino LF, Teixeira Coelho S. 2017. Poultry Litter as Biomass Energy: A Review and Future Perspectives. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 76:941–949.
- Florin NH, Maddocks AR, Wood S, Harris AT. 2019. High-temperature thermal destruction of poultry derived wastes for energy recovery in Australia. *Waste Manag.* 24:1399–1408.

- Gonzalez-Salazara MA, Morini M, Pinelli M, Spina PR, Venturini M, Finkenrath M, Poganietz WR. 2014. Methodology for estimating biomass energy potential and its application to Colombia. *Appl. Energy*. 136:781–796.
- IEA. 2017. Energy Policies of IEA Countries, Poland 2016 Review. Paris: IEA Publications.
- Lourinho G, Brito P. 2015. Assessment of biomass energy potential in a region of Portugal (Alto Alentejo). *Energy*. 81:189–201.
- Qian X, Lee S, Soto AM, Chen G. 2018. Regression Model to Predict the Higher Heating Value of Poultry Waste from Proximate Analysis. *Resources*. 7(39).
- Saidura R, Abdelaziza EA, Demirbasb A, Hossaina MS, Mekhilefc S. 2013. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 15:2262–2289.
- Tańczuk M, Radziewicz W, Olszewski E, Skorek J. 2017. Projected configuration of a coal-fired district heating source on the basis of comparative technical-economical optimization analysis. *In Proceedings of the International Conference on Energy, Environment and Material Systems (EEMS), E3S Web of Conferences*, 13–15 September 2017. Poland. 19.
- Tańczuk M, Masiukiewicz M, Anweiler S, Junga R. 2018. Technical Aspects and Energy Effects of Waste Heat Recovery from District Heating Boiler Slag. *Energies*. 11:796.
- Tańczuk M, Junga R, Werle S, Chabiński M, Ziółkowski. 2019. Experimental analysis of the fixed bed gasification process of the mixtures of the quail manure with biomass. *Renew. Energy Rev*. 136:1055–1063.
- Wieremiej W. 2017. Usefulness of Poultry Wastes in Fertilization of Maize (*Zea mays L.*) and Their Influence on Selected Soil Properties (In Polish). Ph.D [Thesis]. Poland: Siedlce University of Natural Sciences and Humanities.